

Systèmes d'élevage et transferts de fertilité dans la zone des savanes africaines

Étienne Landais, Hubert Guérin

I. La production des matières fertilisantes

Dans le cadre de l'approche recherche-développement, les *Cahiers/Agricultures* abordent aujourd'hui un thème majeur : celui des relations entre élevage et agriculture.

Ce premier article sur la fertilisation animale présente les mécanismes et les principaux facteurs de variation de la production des matières fertilisantes. Dans un prochain numéro de ce journal, vous pourrez lire un second article signé de E. Landais et Ph. Lhoste, sur l'utilisation et la gestion de ces matières fertilisantes dans les systèmes pastoraux et agro-pastoraux de la zone des savanes.

Les fonctions physiologiques mises en jeu

La fonction fertilisante assignée aux herbivores domestiques, et principalement aux ruminants, met directement en jeu diverses fonctions physiologiques de l'animal :

- l'ingestion, qui règle le prélèvement opéré par l'animal au pâturage, ainsi que la consommation des aliments (fourrages et concentrés) qui lui sont distribués à l'auge ;
- la digestion, à travers laquelle l'animal transforme les aliments ingérés et

prélève les nutriments qui sont nécessaires à son métabolisme ;

— l'excrétion, par laquelle il rejette à l'extérieur les résidus de la digestion (excrétion fécale) et du métabolisme (excrétion urinaire). Ce sont ces résidus qui nous intéressent particulièrement ici, en raison de leur intérêt pour la fertilisation du sol ;

— la mobilité, qui règle la distribution spatiale des prélèvements et des restitutions. Les transferts de fertilité opérés par l'animal sont directement liés aux rythmes saisonniers et quotidiens des déplacements du bétail.

L'ingestion, la digestion et l'excrétion dépendent dans une large mesure des caractéristiques des aliments qui sont



Photo 1. Appareillage pour la collecte totale de fèces en milieu d'élevage traditionnel : ovins Peul-Peul, Sénégal (Cliché Friot).

Photo 1. Apparatus for the total collection of faeces in a traditional farming environment : Peul-Peul sheep, Senegal.

E. Landais : INRA/SAD, route de Saint-Cyr, 78026 Versailles Cedex, France.
H. Guérin : CIRAD-EMVT, 10, rue Pierre-Curie, 94704 Maisons-Alfort Cedex, France.

Cette publication est tirée de la communication présentée aux Rencontres Internationales « Savanes d'Afrique, terres fertiles ? » organisées par le CIRAD (Montpellier, 10-14 décembre 1990) (Actes CIRAD/Min Coop 1991 : 219-70). Nous remercions les autorités du CIRAD pour leur aimable autorisation.

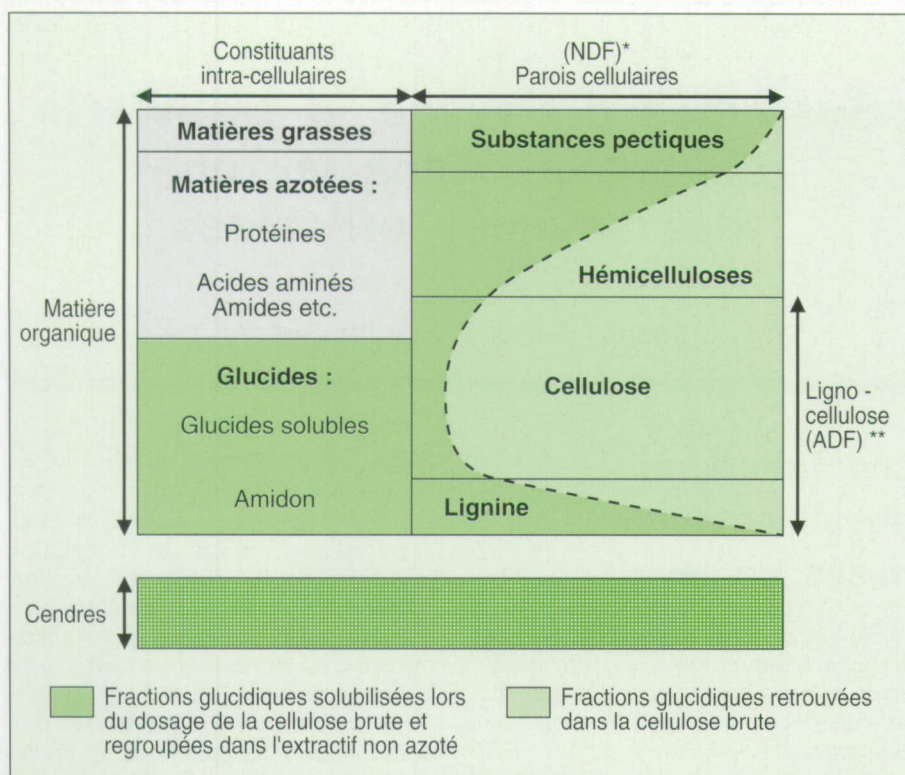


Figure 1. Schéma des constituants de la matière sèche des aliments et de leur fractionnement par la méthode d'analyse classique (d'après [1]). * NDF : Neutral Detergent Fibre * ADF : Acid Detergent Fibre [2].

Figure 1. Breakdown of components of dry matter in food and their fractionation using the classical analytical method (from [1]). * NDF : Neutral Detergent Fibre ; * ADF : Acid Detergent Fibre [2].

proposés aux animaux. Ces caractéristiques sont classiquement décrites par la teneur des aliments en un certain nombre de constituants, selon un schéma analytique rappelé en *figure 1* [1, 2].

L'ingestion

L'ingestion dépend de multiples facteurs, ainsi que le montre la *figure 2*. Elle résulte de l'arbitrage réalisé par l'animal entre sa propre capacité d'ingestion et l'offre alimentaire, qui dépend elle-même, d'une part de la nature et de l'abondance des ressources exploitées, d'autre part des pratiques de conduite mises en œuvre dans le système d'élevage considéré. Dans tous les cas, l'animal trie dans l'alimentation qui lui est offerte pour composer sa ration. La composition de celle-ci est généralement plus riche en énergie et en azote digestibles que la composition moyenne des fourrages disponibles. La différence est d'autant plus marquée que les fourrages sont plus pauvres et hétérogènes, et qu'une plus grande latitude est laissée à l'animal dans ses déplacements, dans le

choix de ses aliments et dans la fixation de son temps de pâture et de rumination.

La régulation physiologique de l'ingestion met en jeu divers mécanismes. Les plus importants concernent :

- la régulation de l'ingestion énergétique, en relation avec les besoins d'entretien, de déplacement et de production ; ce système de régulation n'intervient qu'exceptionnellement au pâturage ;
- la régulation physique de la quantité de matière sèche ingérée, liée à la vitesse de transit des aliments et à la réplétion du rumen [3] ;
- la régulation chronobiologique des temps de rumination et de mastication (ingestion + rumination) qui sont limités.

Ces mécanismes physiologiques de régulation ne jouent évidemment que si la disponibilité des ressources fourragères et le temps de pâture ne sont pas eux-mêmes limitants, ce qui n'est pas rare dans la zone étudiée.

Pour une espèce donnée, la teneur du fourrage en constituants pariétaux

(NDF), particulièrement en parois lignifiées (ADF ou lignocellulose), est le principal facteur de variation de la vitesse de digestion (mécanique et microbienne) dans le rumen et de la digestibilité*. Quand la teneur en ADF s'accroît au cours du développement des plantes, le temps de mastication (ingestion + rumination) augmente, de même que le temps de rétention moyen des particules dans le rumen**. De plus, la digestion est moins complète que pour un fourrage jeune, moins lignifié. En conséquence, l'effet d'encombrement du fourrage augmente avec la teneur en parois et l'ingestibilité diminue***.

La digestion

La digestion des aliments ingérés (*figure 3*) passe par leur dégradation physico-chimique, qui résulte de divers processus : fragmentation des tissus végétaux, mise en solution des constituants solubles, attaque enzymatique par la microflore et la microfaune du tube digestif.

* La digestibilité (apparente) d'un aliment est la proportion de sa matière organique (dMO) qui disparaît dans le tube digestif : dMO = (quantité de matière organique ingérée - quantité de matière organique des fèces)/quantité de matière organique ingérée. En plus de cette dMO, les Tables des aliments donnent la digestibilité de l'énergie (dE) et de certains constituants organiques : matières azotées, matières grasses, cellulose brute [1].

** Les aliments distribués sous forme non broyée, les fourrages plus particulièrement, sont retenus dans le rumen (et le réseau) pendant le temps nécessaire à leur réduction en fines particules sous l'action de la mastication lors de la rumination. Ils y exercent un effet d'encombrement, mesuré par la quantité de matière sèche présente dans le rumen, qui augmente en même temps que la proportion des tissus lignifiés parce qu'ils sont les plus résistants à la mastication [1].

*** La capacité d'ingestion d'un animal, souvent appelée à tort appétit, désigne la quantité d'aliments que peut ingérer volontairement l'animal alimenté à volonté. Elle est fondamentalement déterminée par la dépense énergétique, donc par le niveau de production ; elle dépend aussi de caractéristiques anatomiques (taille du rumen...) et physiologiques (appétit). Exprimée en unités d'encombrement (UE), la capacité d'ingestion devient par principe indépendante de la composition de la ration. On compare la capacité d'ingestion d'animaux différents en leur distribuant à volonté la même ration. Ingestibilité d'un fourrage (néologisme) : quantité de ce fourrage (matière sèche) qui est ingérée lorsqu'il est distribué à volonté comme seul aliment. On compare l'ingestibilité des différents fourrages en les distribuant à des animaux de même capacité d'ingestion ; le mouton standard de 60 kg a été utilisé pour établir les Tables. L'ingestibilité varie fondamentalement en sens inverse de la teneur en parois lignifiées du fourrage et de l'effet d'encombrement qu'il exerce dans le rumen. Elle dépend en outre de l'appétibilité du fourrage. Elle est exprimée en unités d'encombrement (UE) dans les Tables [1].

Les constituants solubles des fourrages (sucres, acides organiques, acides aminés libres, certaines protéines, substances pectiques) sont dégradés très rapidement et en totalité dans le rumen. Ils constituent le premier substrat utilisé par la flore microbienne après le repas. La cellulose et, dans une moindre mesure, les hémicelluloses des parois non lignifiées sont elles aussi dégradées dans une proportion très importante mais à un rythme beaucoup plus lent, qui dépend de l'activité des micro-organismes, elle-même sous la dépendance des quantités d'énergie et d'azote fermentescibles dont ils disposent. Les tissus lignifiés et les épidermes recouverts d'une cuti-

cule ne sont pratiquement pas attaqués par les bactéries cellulolytiques du rumen ou du gros intestin, et seront rejetés dans les fèces. Ils constituent l'essentiel de la fraction non digestible des fourrages.

Les micro-organismes du rumen tirent leur énergie de la dégradation des chaînes carbonées des sucres provenant des glucides solubles, puis de l'hydrolyse de l'amidon, enfin de l'hydrolyse de la cellulose et des autres polysides des parois. Les principaux produits terminaux de la fermentation ruminale sont :

— un mélange d'acides gras volatils (acide acétique surtout dans le cas de fourrages pauvres) qui sont absorbés à

travers la paroi du rumen, du réseau et du feuillet, et constituent la principale source d'énergie pour l'animal ;
— des gaz (méthane et gaz carbonique) qui sont rejetés à l'extérieur par érucation ;

— un résidu contenant, en suspension dans une phase liquide, les particules alimentaires résiduelles des corps microbiens et des débris cellulaires provenant de la paroi du rumen et du réseau (constituants endogènes). Ce résidu constitue le flux qui va transiter par la caillette, puis l'intestin grêle où il est soumis à l'attaque enzymatique des sucs digestifs.

Les principaux produits qui y seront absorbés sont :

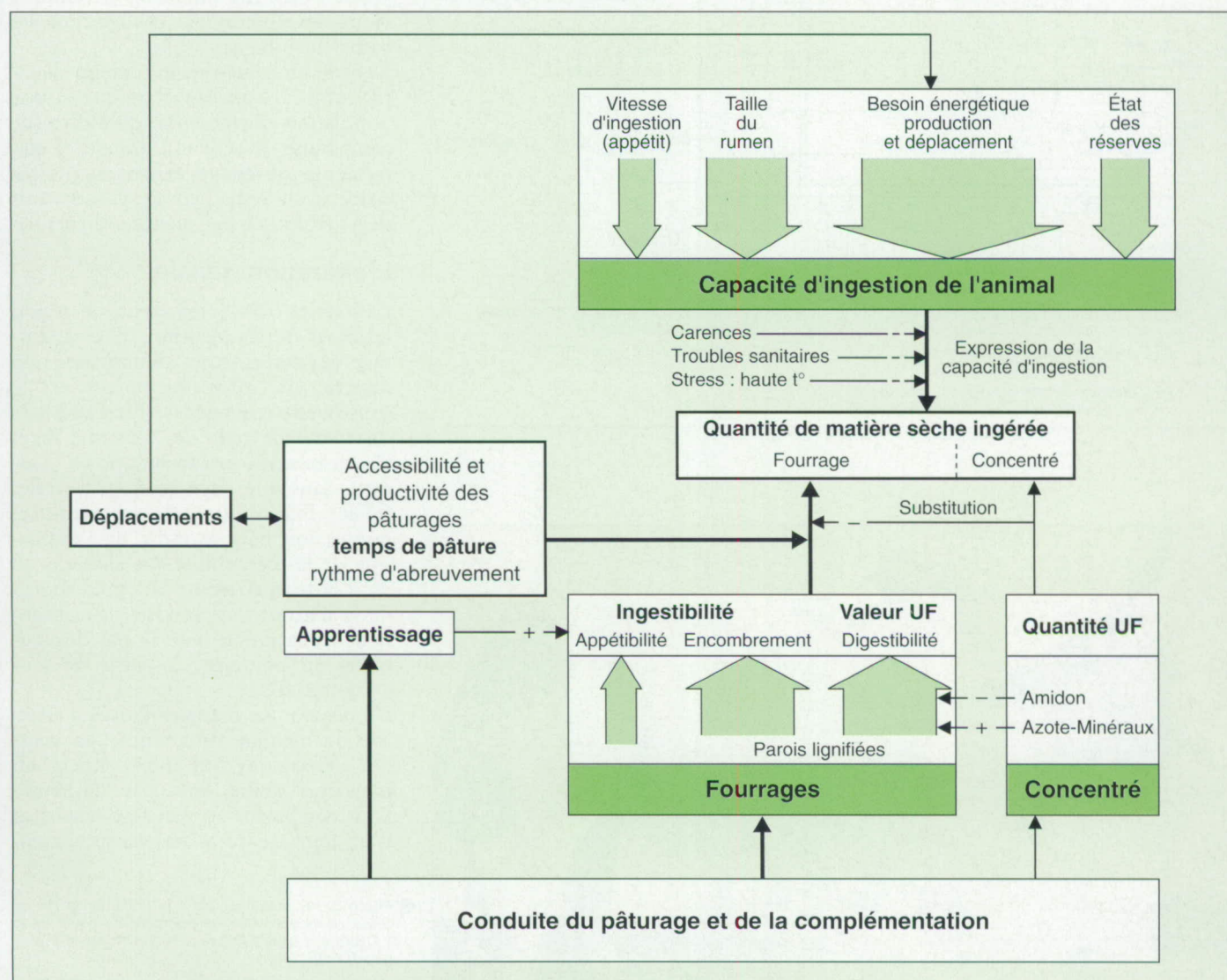


Figure 2. Principaux facteurs de variation de l'ingestion (d'après [1]).

Figure 2. Main factors of variation in ingestion (from [1]).

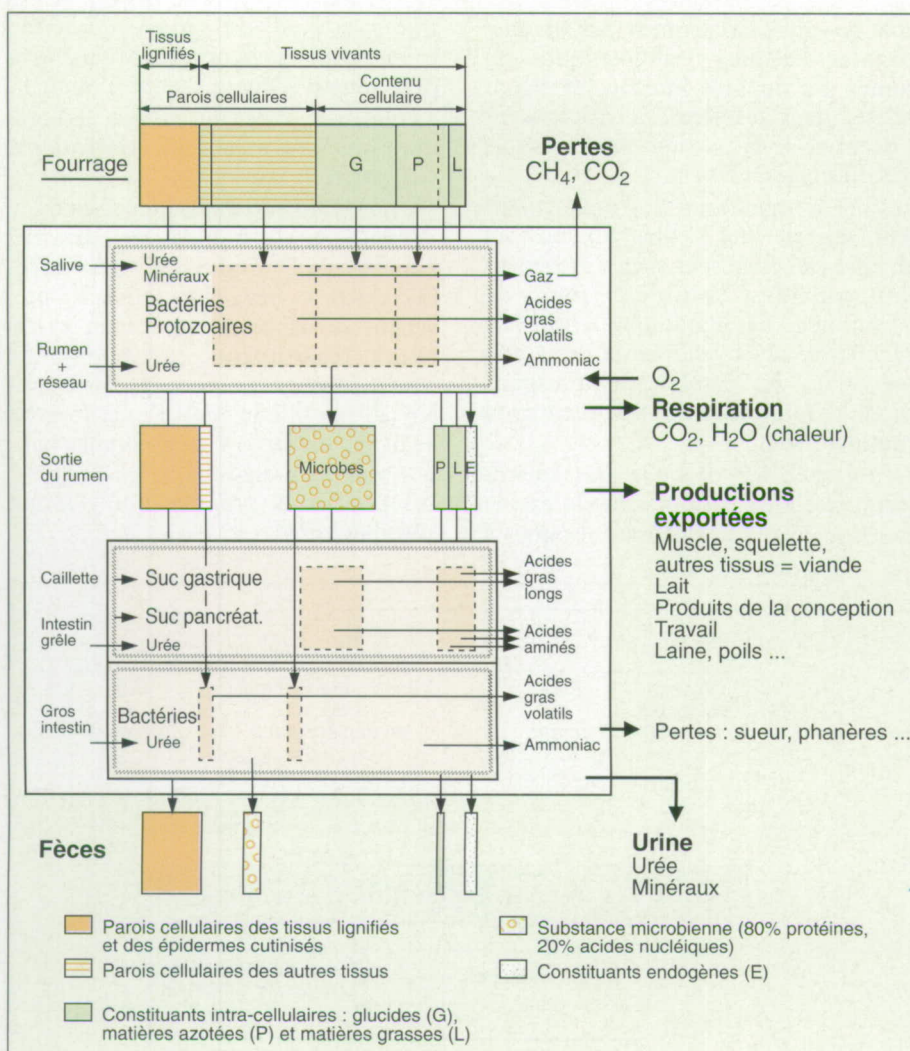


Figure 3. Schéma de la digestion d'un fourrage de bonne qualité (digestibilité de la matière organique de 70 %) et de sa répartition entre les principaux compartiments digestifs (représentés avec leur épithélium) : devenir des principaux constituants ; formation et devenir des corps microbiens ; produits terminaux (d'après [1]).

Figure 3. Digestion diagram of good-quality forage (digestibility of organic matter : 70 %) and its division among the various digestive compartments (represented with epithelium) : end result of the main components ; formation and end result of microbial bodies ; and end products (from [1]).

— des acides gras longs provenant des aliments, auxquels s'ajoutent les acides gras microbiens ;
— des acides aminés provenant essentiellement des protéines microbiennes et des protéines endogènes ;
— de l'eau, des minéraux et certaines vitamines libérées par la digestion des corps microbiens.

Dans le gros intestin, le contenu digestif subit à nouveau l'attaque d'une population microbienne cellulolytique comparable à celle du rumen. Cette fermentation est généralement limitée parce qu'il reste peu de constituants dégradables, et par manque d'énergie.

L'excrétion fécale

L'excrétion fécale représente le résidu terminal de la digestion. Elle est formée des constituants alimentaires non digérés, de corps microbiens et de constituants endogènes. Bien que très différente de celle des aliments ingérés, sa composition analytique en constitue dans une large mesure un reflet fidèle. Elle a donc été très étudiée, que ce soit dans le cadre de l'évaluation de la digestibilité des aliments ou dans la perspective de la « prédiction » de la nature et de la valeur nutritionnelle de la ration ingérée par des animaux au pâturage, à partir de leur excrétion fécale.

L'émission des matières fécales s'effectue de manière discontinue au cours des défécations qui interviennent en moyenne douze fois par 24 heures pour des bovins au pâturage disposant d'un fourrage de bonne valeur alimen-



Photo 2. Appareillage pour la collecte totale de fèces en milieu d'élevage traditionnel : bovin métis « Djakoré » (zèbre Gobra x taurin N'Dama, Sénégal) (Cliché Friot).

Photo 2. Apparatus for the total collection of faeces in a traditional farming environment : « Djakoré » (Gobra zebu x N'Dama bull) crossbreed cattle, Senegal.



Photo 3. Départ au pâturage d'un groupe de bovins appareillés en zone agropastorale sahélo-soudanienne, Sénégal (Cliché Friot).

Photo 3. Group of cattle fitted with the collection apparatus leaving for pasture in Senegal's Sahelo-Sudanian agropastoral zone.

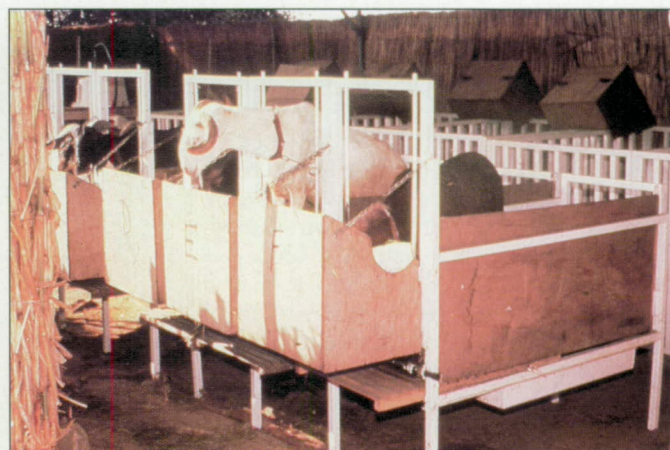


Photo 4. Cages à digestibilité : mouton Peul-Peul, Sénégal (Cliché Friot).

Photo 4. Digestibility cages : Peul-Peul sheep, Senegal.

Summary

Livestock systems and fertility transfer in the African savannah zone I. Production of fertilizing-matter

É. Landais, H. Guérin

In savannah zones, animal manure is the technique most commonly used by African farmers to maintain the fertility of the permanent fields. Hence, the fertilizing function of the domestic herbivores - mainly cattle - involves a variety of physiological functions : ingestion, digestion, excretion and locomotion. Based on earlier work performed by the INRA in France and on results obtained from joint experimental research carried out by the ISRA in Senegal and the stockbreeding department of the CIRAD/EMVT in France, the authors describe these biological functions' main features and variables. Under traditional savannah-zone conditions of pastoral or agro-pastoral systems, where the routes followed dictate the ruminants' entire nutrition, regulation of ingestion depends - according to season, and when forage or pasture time are not themselves, as is frequently the case, limiting factors - upon mechanisms of a physical (regulation of quantity of dry matter ingested) or chronobiological nature (time restrictions for ingestion and ruminating). The main factor causing variations in speed of rumen digestion and total mastication time was the proportion of lignified-cell-wall forage matter (ADF of ligno-cellulose) which may vary considerably over the year, and this plays an important part in regulating ingestion.

The quantities of dry and organic matter excreted in the faeces depended on the quantities and digestibility of the food ingested. Although varying less than the quantities ingested, since digestibility varies in the same way as ingestion, the quantities excreted did nevertheless vary to a great extent : i.e. between 15 and 60 g DM/kgP⁰⁷⁵ under the experimental conditions and according to species and season.

The minerals not fixed by the animal were excreted in the faeces (calcium, phosphorus and magnesium) or the urine (sodium and potassium). The faecal (mineral) ash content depended upon the food composition and digestibility of the organic matter but mainly on the quantities of earth (silica) ingested ; this may be very high at the beginning of the rainy season, reaching up to 450 g/kg MS.

Faecal content of nitrogenous matter also varied with the ration. It was very low at the end of the dry season (100 to 150 g/kg OM), increased suddenly with the onset of rain - peaking at 250 to 300 g/kg OM - then gradually decreased until December/January.

Assessment of organic, carbonated and nitrogenous levels of food use was performed from the point of view of the zootechnician (who is mainly concerned with the fraction formed or exported in the form of milk or other products) and of the agricultural scientist (who is concerned with the fraction excreted in forms which could be used as fertilizer). This enabled the role of the animals in the ecosystems studied to be better understood. Being the sole enhancers of the spontaneous plant resources they consume, they have an important effect on the carbon cycle and on the trophic matter contained in the epigeal phytomass, creating a sort of « short cycle » as opposed to the « long cycles », enabling the elements to be recycled in the soil by other means. Fragmentation caused by mastication and other digestive phenomena was completed by the digestive juices and microbial fermentation, the intensity of which was much greater than that which occurred in the soil. The speed of this cycle was a major factor in its efficiency. In ecological terms, by speeding up the cycle of trophic elements and increasing its humic yield, it actually stimulates the agro-ecosystem biologically. The spatial concentration of the ejecta on cultivated land had a considerable effect on this. This depends on how the animal manure is managed and will dealt with in a future article.

Cahiers Agricultures 1992 ; 1 : 225-38.

taire [4, 5]. Ce rythme peut être ralenti pour des animaux ingérant des fourrages pauvres (ingestion plus faible, transit ralenti).

La consistance des fèces est plus ou moins caractéristique de chaque espèce animale. Pour une même espèce, elle varie selon leur teneur en eau (qui reflète la nature de la ration et le statut hydro-minéral des animaux) et leur fibrosité (qui reflète la richesse en parois indigestibles du fourrage). Les animaux tropicaux, fréquemment sous-alimentés en saison sèche et ingérant des fourrages secs et lignifiés, émettent des fèces sèches et fibreuses*.

Les quantités de matière sèche et de matière organique excrétées dans les fèces dépendent des quantités ingérées et de la digestibilité des aliments. Quoique leur plage de variation soit plus réduite que celle des quantités ingérées (qui, selon l'aliment et les besoins de l'animal, peuvent varier du simple, dans le cas d'un animal à l'entretien, à plus du double, dans le cas des femelles en lactation), puisque la digestibilité varie dans le même sens que l'ingestion, les quantités excrétées peuvent varier très largement au cours du temps et la norme souvent utilisée de 1 kg de MS fécale par 100 kg de poids vif et par jour n'en représente qu'une approximation assez grossière. La figure 4 [6], issue de résultats obtenus par l'IEMVT et l'ISRA en milieu agropastoral au Sine-Saloum (Sénégal), fournit une idée de la variabilité de l'excrétion fécale entre espèces, entre saisons et entre années. Les différences constatées entre espèces résultent des différences entre les rations ingérées dans un même milieu, sous l'influence de comportements alimentaires nettement tranchés (figure 5 [7]) et de niveaux d'ingestion (exprimés par unité de poids) variables d'une espèce à l'autre.

Pour une même espèce, l'excrétion fécale varie non seulement d'une saison sur l'autre, mais aussi d'un parcours à l'autre, en fonction du disponible alimentaire, du temps de séjour au pâturage, du mode de conduite des animaux, etc. (figure 6 [8]).

* La teneur moyenne en matières sèches des fèces de bovins exploitant des parcours tropicaux augmente de 15 % en début de saison des pluies à 30 % en pleine saison sèche ; pour les ovins, les valeurs correspondantes s'élèvent respectivement à 25 et 55 %.

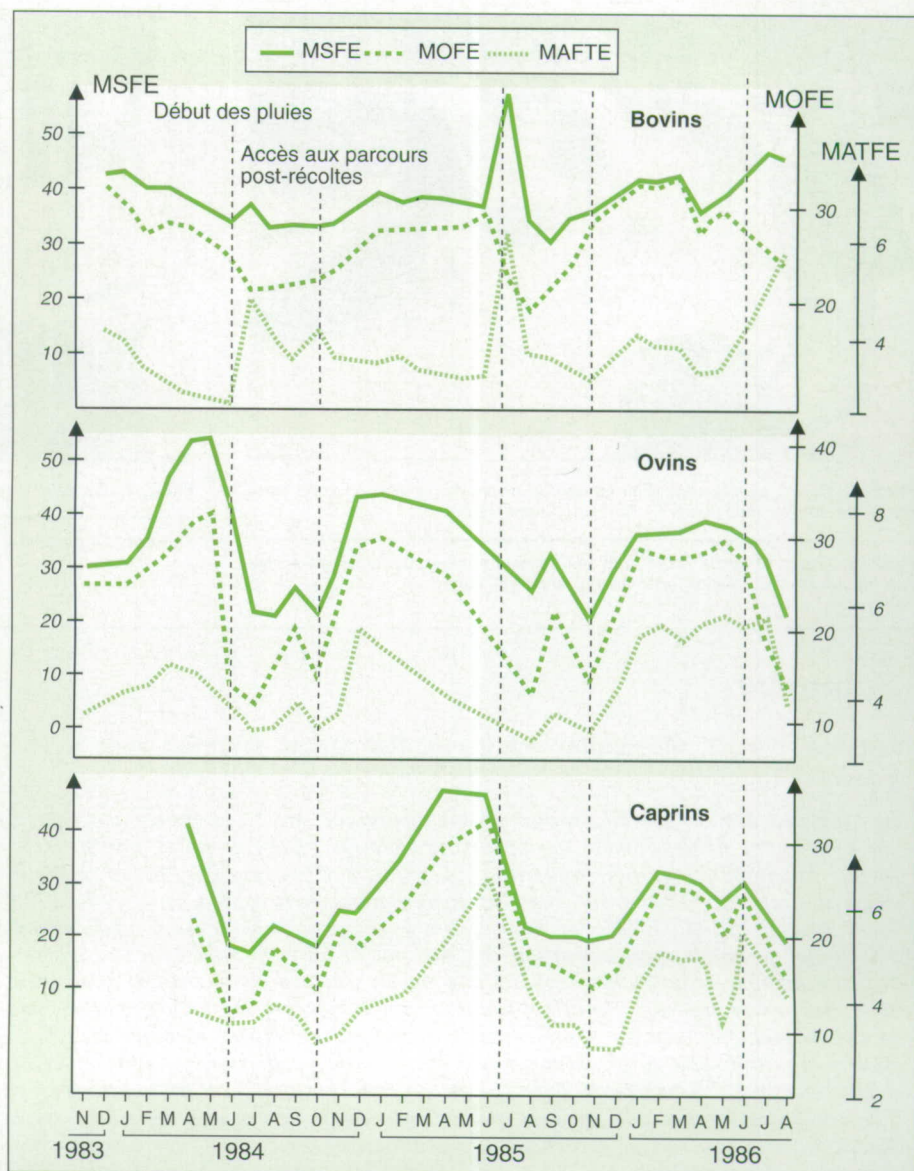


Figure 4. Évolution des quantités (en g/kg P^{0.75}) de matière sèche (MSFE : courbe supérieure), de matière organique (MOFE : courbe intermédiaire) et de matières azotées (MATFE : courbe inférieure) excrétées dans les fèces des ruminants en milieu agro-pastoral au Sine-Saloum (Thyssé-Kaymor, département de Niourou-du-Rip, Sénégal) [6].

Figure 4. Changes in quantity (in g/kg P^{0.75}) of dry matter (MSFE : upper curve), of organic matter (MOFE : intermediate curve), and of nitrogenous matter (MATFE : lower curve) excreted in the faeces of ruminants in agropastoral system in Sine-Saloum (Thyssé-Kaymor, département of Niourou-du-Rip in Senegal).

En milieu sahélien, d'importantes fluctuations saisonnières et inter-annuelles sont également relevées au plan de la composition des fèces (figure 7).

La teneur en cendres dépend de la digestibilité de la matière organique, mais aussi des quantités de terres ingérées : la silice peut représenter 20 à 40 % de la MS des fèces. Cette teneur varie, au cours de la saison sèche et d'un parcours à l'autre, en fonction inverse de la disponibilité en fourrages, les animaux

ingérant d'autant plus de terre que les débris végétaux qu'ils consomment sont plus rares. Au début de la saison des pluies, ils broutent des repousses herbacées très rases et souillées de terre à cause des pluies. La teneur en cendres des fèces s'élève alors très fortement, jusqu'à 450 g/kg de MS. Elle décroît ensuite rapidement, parallèlement au développement de la végétation et surtout à la diminution de la digestibilité de la matière organique du fourrage.

La teneur des fèces en matières azotées varie comme celle du régime : très faible en fin de saison sèche, elle augmente brutalement au début de la saison des pluies, puis diminue progressivement jusqu'en décembre-janvier.

Les teneurs en cellulose brute et en ADF varient dans le même sens. Minimales en saison des pluies, elles augmentent progressivement jusqu'en

novembre-décembre, en relation avec l'évolution des plantes consommées. La diminution, plus ou moins marquée selon les années, qui est ensuite observée au cours de la saison sèche s'explique par l'augmentation progressive dans la ration de la part des graminées, au détriment des dicotylédones, dont la cellulose est beaucoup moins digestible [6].

L'excrétion urinaire

L'excrétion urinaire n'a pas le même statut physiologique que l'excrétion fécale. Elle concerne en effet exclusivement des métabolites sanguins et joue un rôle essentiel dans la régulation de l'équilibre hydro-minéral et du métabolisme azoté, tout en assurant la détoxification de l'organisme.

Les mictions urinaires interviennent en moyenne 9 à 10 fois par jour chez les bovins des zones tempérées mais ce rythme dépend très largement des quantités d'eau ingérées dans l'alimentation et lors de l'abreuvement. D'une manière générale, le volume et la concentration de l'urine sont extrêmement variables : pour les moutons qui ont été utilisés pour le calcul des bilans qui sont présentés plus loin, l'excrétion urinaire a ainsi varié entre 3,4 et 3,9 l/100 kg de vif par 24 h pour des animaux en production (moyenne des lots A) et entre 1,0 et 2,5 l/100 kg de vif par 24 h pour des animaux à l'entretien (moyenne des lots B). Ceci ne donne qu'une faible idée des variations individuelles (il s'agissait d'animaux en cage abreuvés *ad libitum*) : Spedding (1971, cité dans [4, 5]) rapporte que l'excrétion urinaire du mouton peut varier entre 1,4 et 7,2 g de MS par kg de poids vif et par jour. L'excrétion urinaire joue un rôle essentiel pour certains minéraux. La teneur sanguine en potassium et en sodium est contrôlée par le rein. En revanche, l'excrétion urinaire du phosphore et du calcium est pratiquement nulle, celle du magnésium est très faible (figure 8 [9]).

La moitié environ du potassium urinaire est sous forme de chlorure, considéré comme très mobile et éminemment lessivable dans le sol. L'autre moitié, qui se trouve sous forme de carbonate et de bicarbonate, serait beaucoup plus stable. Au total, la rémanence du potassium excrété serait de 20 à 30 mois dans les sols des régions tempérées [4, 5].

L'azote ammoniacal absorbé lors de la digestion ainsi que les groupements aminés libérés lors du catabolisme des acides aminés sont transformés en urée par le foie. L'urée ainsi formée est en partie recyclée par la salive et par diffusion à travers la paroi du tube digestif (figure 3), en partie excrétée dans l'urine par les reins. L'importance du

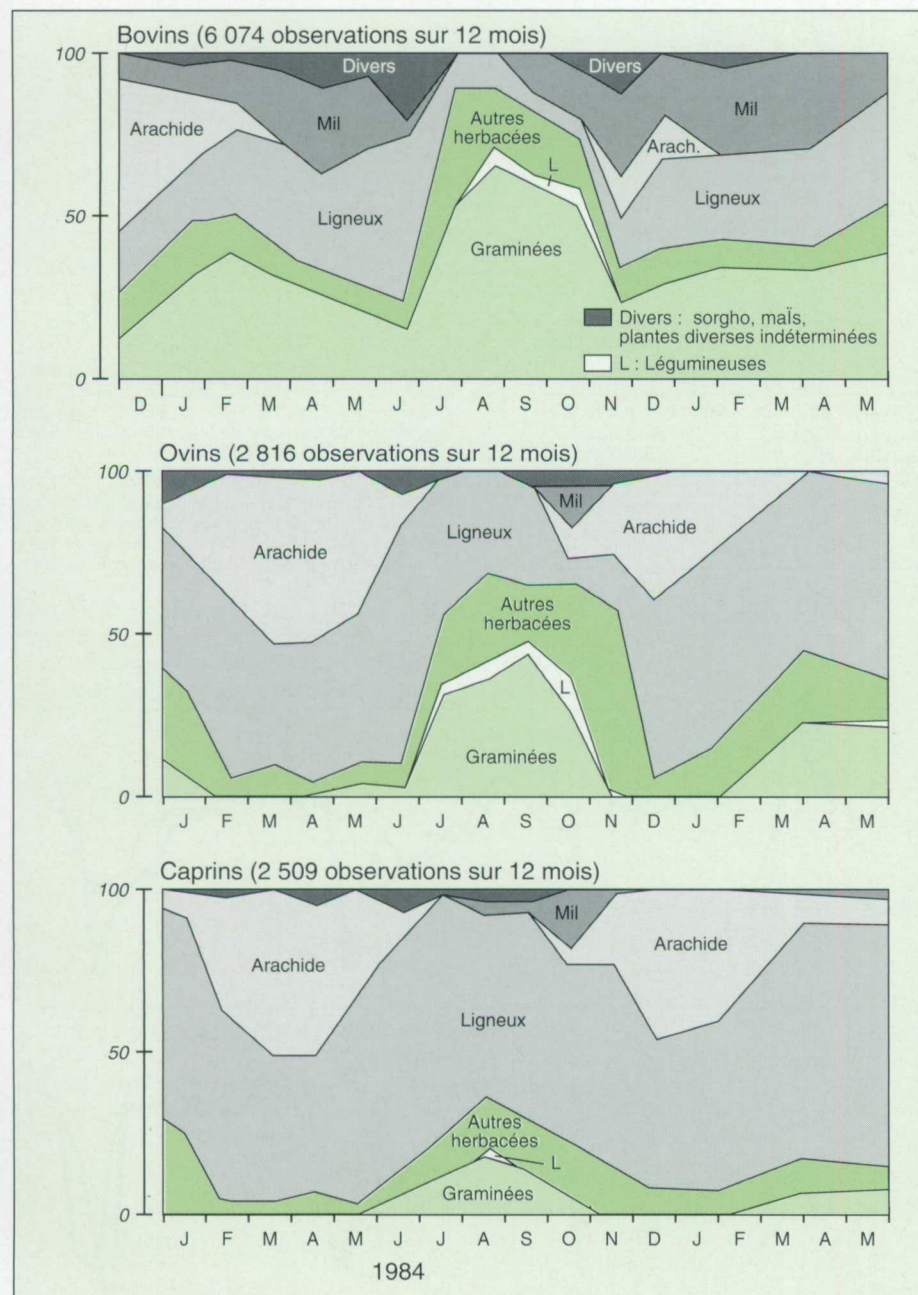


Figure 5. Composition botanique du régime des ruminants domestiques à Thyssé-Kaymor (Sine-Saloum, Sénégal) [7].

Figure 5. Botanical composition of domestic ruminants' regime in Thyssé-Kaymor (Sine-Saloum, Senegal).

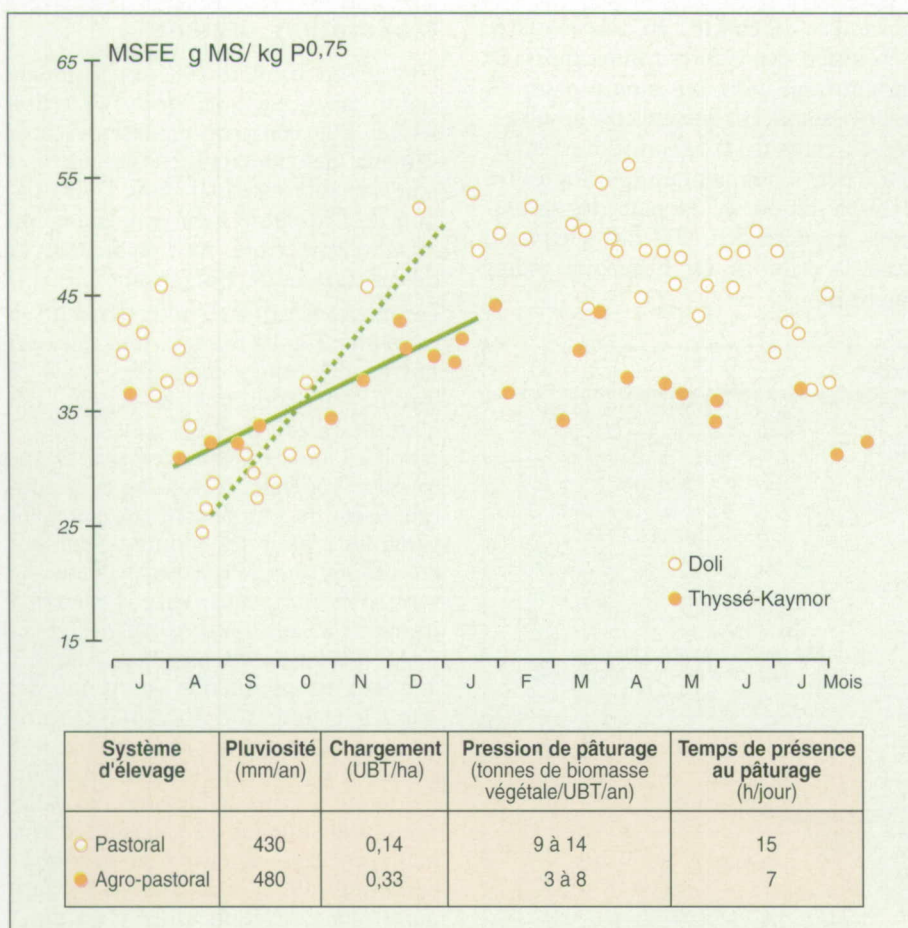
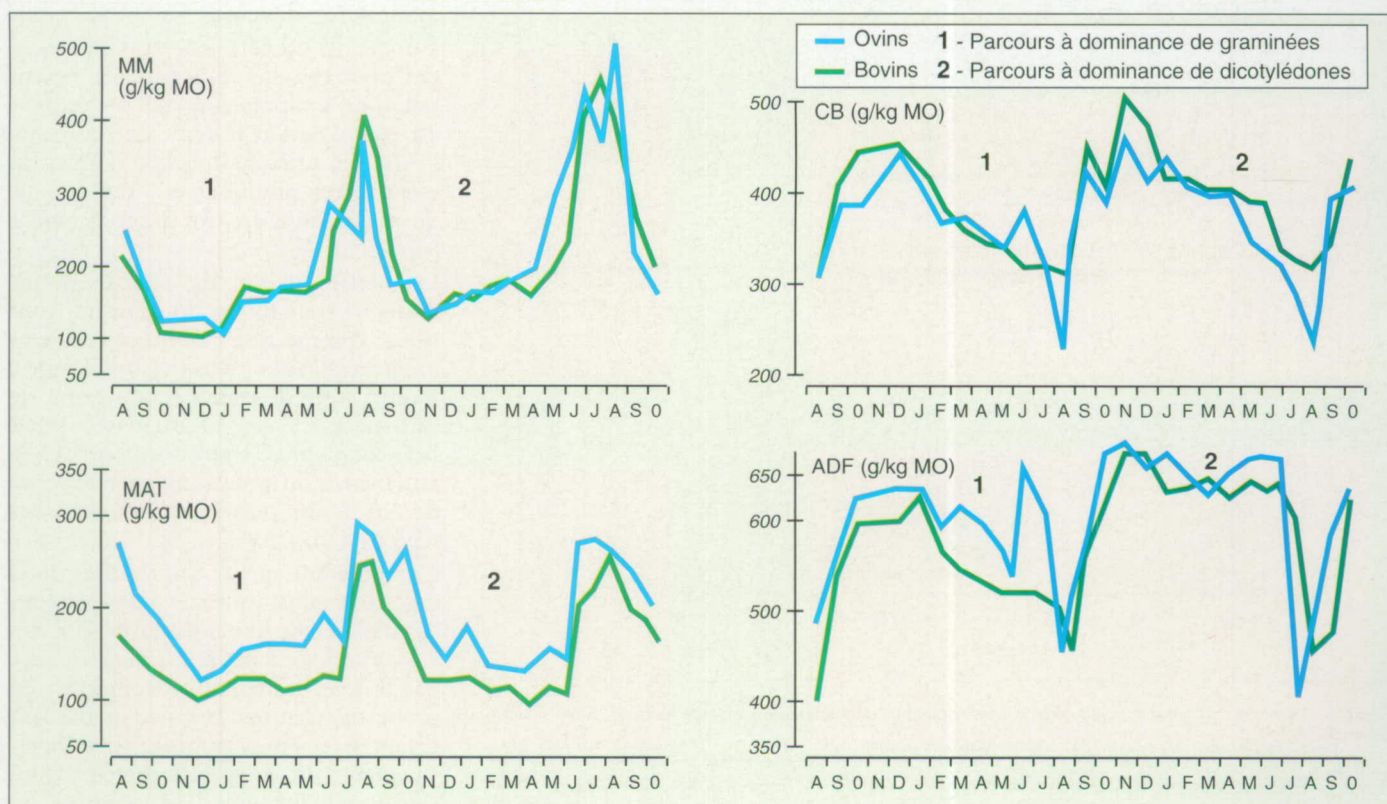


Figure 6. Quantité de fèces excrétées par des bovins suivant le système d'élevage, les ressources fourragères et le mode de conduite [8].

Figure 6. Quantity of faeces excreted by cattle according to livestock system, forage resources and herd management.

Figure 7. Évolution de la teneur en cendres (MM), matières azotées (MAT), cellulose brute (CB) et ligno-cellulose (ADF) des fèces de ruminants exploitant les parcours de la région de Doli (Sénégal) entre 1980 et 1983 [8].

Figure 7. Changes in levels of ashes (MM), nitrogenous matter (MAT), gross celluloses (CB) and ligno-cellulose (ADF) of faeces of ruminants using the ranges in the Doli region (Senegal) between 1980 and 1983.



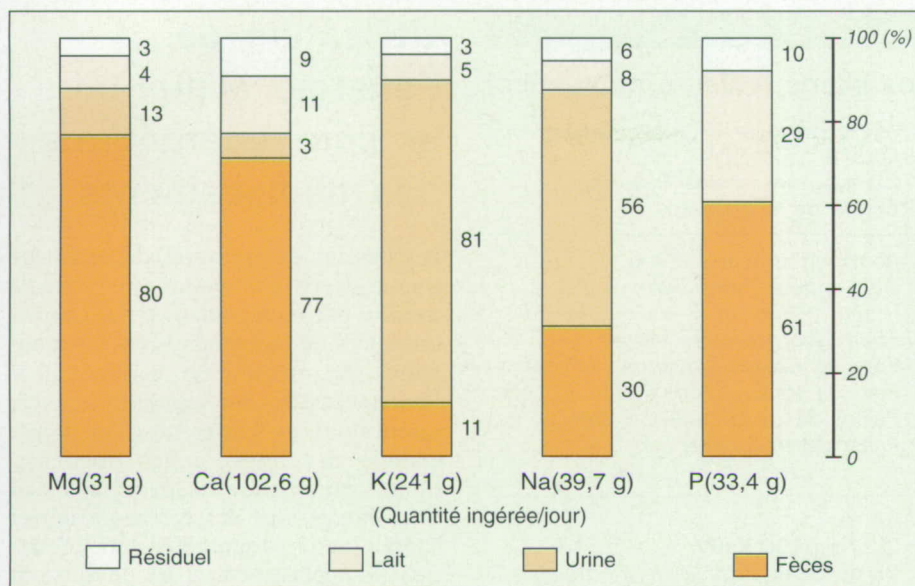


Figure 8. Excrétion d'éléments minéraux à travers fèces, urine et production laitière (en % des éléments ingérés chez des bovins laitiers au pâturage) [9].

Figure 8. Excretion of mineral elements via the faeces, urine, and milk products (in % of elements ingested by dairy cattle at pasture).

recyclage est d'autant plus grande que la teneur de la ration en azote dégradable dans le rumen est plus faible. L'urée endogène est la principale source d'azote pour la population microbienne du gros intestin.

L'azote urinaire se trouve, pour environ 75 %, sous forme d'urée. Le reste se partage entre des formes aminées (10-15 %) et diverses molécules, dont

l'acide hippurique, la créatine, la créatinine et l'allantoïne. Toutes ces formes solubles sont facilement minéralisables et lessivables dans le sol. L'hydrolyse de l'urée s'accompagne localement d'une augmentation rapide et marquée du pH et de pertes par volatilisation et lessivage, qui dépendent étroitement des conditions de température et d'humidité.



Photo 5. Pesée ovin adulte en milieu villageois traditionnel, Sénégal (Cliché Friot).

Photo 5. Weighing adult sheep in a traditional village environment, Senegal.

Approche en termes de bilans

Au-delà de son fonctionnement interne, dont nous avons tenté de rappeler brièvement les grands traits, l'animal peut être considéré comme une boîte noire dont le fonctionnement est saisi uniquement par la mesure des flux qui le traversent (figure 9). Cette approche conduit à établir des bilans qui nécessitent des mesures précises sur des animaux placés dans des situations expérimentales contraignantes (cages individuelles)*. Elle est encore relativement rare dans les situations tropicales. Ces bilans sont généralement réalisés sur des ovins qui représentent l'animal standard pour les études d'alimentation-nutrition.

Nous avons établi, à titre d'exemple, quelques bilans d'utilisation par des ovins de la matière organique, de l'azote, des parois (NDF) et de la lignocellulose (ADF), à partir de données qui nous ont été communiquées par le programme Alimentation du bétail tropical réalisé en coopération au Sénégal par l'IEMVT et l'ISRA. Il s'agit d'ovins mâles de race Peul-Peul en fin de croissance et recevant deux types d'alimentation bien différents : les résultats du groupe B (moyenne de cinq essais réalisés chacun sur 6 animaux) ont été obtenus avec des fourrages pauvres couvrant à peu près les besoins d'entretien, tandis que ceux du groupe A (deux essais) correspondent à des rations d'engraisement équilibrées, riches en énergie, en azote fermentescible et en protéines de bonne qualité permettant des gains quotidiens moyens de l'ordre de 150 g (Tableau 1). Ces bilans sont résumés par les données présentées dans les Tableaux 2 et 3. A titre de comparaison, le Tableau 4 [c, 10] propose quelques bilans établis en Europe sur ovins (mesures en cages) et vaches laitières (éléments de bilans reconstitués par le calcul, pour des animaux au pâturage, ingérant des rations moins riches que celle qui est proposée aux ovins de nos lots A).

* Cependant, des mesures beaucoup plus lourdes, plus délicates sur le plan technique et moins précises sont parfois réalisées dans les conditions du pâturage [8].

Tableau 1
Descriptif des lots utilisés pour les bilans (valeurs moyennes)

Lots A 12 moutons mâles Peul-Peul 2 lots de 6 animaux	Lots B 30 moutons mâles Peul-Peul 5 lots de 6 animaux
Poids vif moyen : 31 kg Gain moyen quotidien : 160 g	Poids vif moyen : 27 kg Gain moyen quotidien : 0 g
Régime : ration de base + concentré Pailles de riz traitées à l'urée : 53 % Mélasse : 24 % Tourteau d'arachide : 21 % Urée : 1,6 % Complément minéral : 1,1 %	Fourrages grossiers seuls Foin de <i>Chloris gayanus</i> (2 lots) Foin de <i>Panicum maximum</i> (1 lot) Pailles de riz traitées à l'urée (1 lot) Paille de riz (1 lot)
Digestibilité de la MS : 66 % Ingestion MSVI : 3,70 kg/100 kg PV Apport énergétique : 59 gMOD/kgP ^{0,75} Niveau d'alimentation ≈ 2,2 fois l'entretien Excrétion fécale : 1,25 kgPV/100 kgQV	54 % 2,37 kg/100 kgPV 28 gMOD/kgP ^{0,75} ≈ 1,0 fois l'entretien 1,08 kgPV/100 kgQV

Source : Programme ABT, IEMVT-ISRA (non publié).

Description of the batches used for the breakdown food-use balance assessment (mean values)

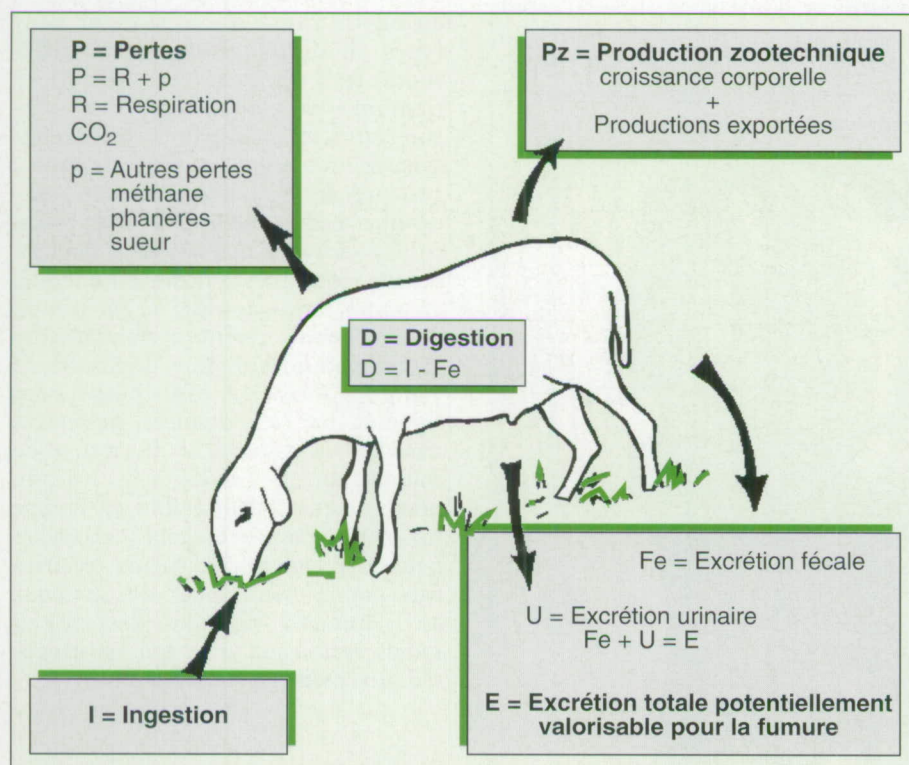


Figure 9. Éléments des bilans d'utilisation des aliments.

Figure 9. Elements of the food-use balance sheet.

Utilisation de l'énergie alimentaire et coût énergétique des déplacements

Les besoins énergétiques des animaux sont couverts en totalité par l'énergie fournie par la dégradation des chaînes carbonées des aliments. Chez les ruminants, on décompose classiquement l'énergie brute des aliments (énergie calorifique) en différentes fractions : énergie des fèces, pertes (méthane, urine), extra-chaleur (correspondant au coût énergétique du métabolisme) et énergie nette, disponible pour l'entretien, le déplacement et les productions (figure 10). La digestibilité de la matière organique constitue le principal facteur de variation de la teneur d'une ration en énergie nette, et la quantité d'énergie nette disponible est pratiquement proportionnelle à la quantité de matière organique digestible (0,1 UFL = 79 g de MOD).

Les besoins d'entretien varient selon le poids des animaux. On considère souvent qu'ils sont directement proportionnels à leur « poids métabolique », c'est-à-dire à leur poids exprimé en kg et élevé à la puissance 0,75. Ainsi, pour des brebis, les besoins d'entretien s'élèvent à 0,033 UFL/kg P^{0,75} soit 26 g de MOD [1]. Cette valeur s'applique également aux races tropicales. Pour un animal donné, on considère que les besoins d'entretien varient peu dès lors que son niveau d'alimentation dépasse l'unité, c'est-à-dire lorsque l'apport de MOD est supérieur aux besoins d'entretien. On sait en revanche qu'en cas de sous-alimentation, des mécanismes d'adaptation physiologique conduisent à une amélioration progressive de l'efficacité de l'utilisation de l'énergie alimentaire, et par conséquent à une réduction très sensible du coût énergétique de l'entretien [11, 12].

Les besoins de déplacement varient selon la durée et la vitesse des déplacements, ainsi que la pente du sol. Sur sol plat, on estime le coût énergétique moyen d'un déplacement de 1 km à 0,026 UFL/100 kg de poids vif, soit 20 g MOD/100 kg PV.

L'activité physique correspondant à la prise alimentaire (recherche et préhen-

Tableau 2

Bilan de l'utilisation par le ruminant de l'énergie, de l'azote et des constituants pariétaux de l'alimentation (%). Exemple de deux types de rations en zone sahélo-soudanienne

Lots*		A	B			A	B
Bilan matière organique (énergie)	I**	100 (3 100)	100 (2 030)	Bilan parois (NDF)	I**	100 (1200)	100 (1 780)
	Pz	18	± €		Fe	49	37
	Fe	30	42				
	U	3	<1				
	E	33	43				
R + P		49	57				
Bilan azote	I**	100 (158)	100 (25)	Bilan ligno-cellulose (ADF)	I**	100 (780)	100 (978)
	Pz	52	± €		Fe	51	37
	Fe	16	60				
	U	27	25				
	E	43	85				
P		5	15				

Source : Programme ABT, IEMVT-ISRA (non publié).

* Cf Tableau 1 ** Entre parenthèses = valeur de l'ingéré (g)

Pour l'explication des symboles : cf. figure 9.

Breakdown of the cattle's use of energy, nitrogen and parietal fractions of the food (%). Example of two types of ration in the sahelo-sudanien zone

Tableau 3

Bilan de la transformation par le ruminant des aliments en matières organiques potentiellement fertilisantes. Exemple de deux types de rations en zone sahélo-soudanienne

		Composition (g/kg MS)		Digestibilité (%)	Excrétion (g/kg MS) ingéré	
		Aliment	Fèces		Fécale	Urinaire
Mouton sahélien en croissance--engraissement intensif (Sénégal) : lots A*	MO	840	730	70	250	€
	N	43	21	84	7	€
	CB**	160	210	57	69	-
	NDF	330	480	50	165	-
	ADF	210	310	48	108	-
Mouton sahélien à l'entretien (Sénégal) : lots B*	MO	860	800	58	360	€
	N	12	16	40	7	3
	CB**	350	270	68	112	-
	NDF	720	580	63	266	-
	ADF	420	340	63	155	-

Source : Programme ABT, IEMVT-ISRA (non publié).

* Cf Tableau 1 ** Cellulose brute

Breakdown of the ruminant's transformation of food into potential-fertilizer organic matter. Example of two types of ration in the sahelo-sudanien zone

sion) accroît par ailleurs les dépenses d'entretien calculées par référence à des animaux immobiles, affouragés à l'auge [13]. Au total, l'activité de déplacement occasionnée par la recherche d'herbe et d'eau entraîne une augmentation très sensible des besoins énergétiques, de l'ordre de 20 % des besoins d'entretien dans le cas d'une herbe abondante et de bonne qualité, de 70 % pour des moutons sur parcours en France et de 100 % ou davantage pour des animaux tropicaux effectuant des déplacements très importants pour ingérer des rations sèches et fibreuses sur des pâturages peu productifs (fin de saison sèche). La mobilité des animaux mise en jeu dans les transferts de fertilité a donc un coût élevé, qui se traduit à la fois par la diminution de l'énergie nette disponible pour la production zootechnique et, en termes agronomiques, par la dispersion sur les parcours non cultivés des fèces et des urines émises pendant les déplacements.

Le travail animal (traction attelée) qui peut également être mis en jeu dans les processus de fertilisation (transport de matières fertilisantes) a lui aussi un coût énergétique élevé (Tableau 5 [14]).

Les dépenses d'énergie liées à l'entretien et aux activités physiques, ainsi que l'extra-chaaleur, se traduisent par la production de chaleur et de gaz carbonique évacués par la respiration. L'énergie nette qui reste disponible pour la production zootechnique est utilisée pour des synthèses organiques diverses, dont l'activité règle le niveau de la fixation de l'azote provenant de la digestion.

Discussion

Au terme de ce rapide survol de l'utilisation par les herbivores de leur ration alimentaire, il importe de conclure à la fois en termes zootechniques et en termes agronomiques : il n'est en effet pas possible de considérer l'animal uniquement sous l'angle de la production de matières fertilisantes !

Le point de vue du zootechnicien

L'animal peut apparaître comme un piètre utilisateur des constituants des aliments qu'il ingère. Entre 70 et

100 % de la MOD (donc de l'énergie alimentaire) sont consacrés à l'entretien et dissipés sous forme de chaleur et de CO_2 par les animaux des lots A et B respectivement. La fourchette serait encore plus étroite (85 à 100 %) s'il s'agissait d'animaux au pâturage. La fixation de l'azote alimentaire varie dans une large mesure en fonction du régime : 0 à 50 % de l'azote ingéré, soit 0 à 60 % environ de l'azote digestible pour les lots B et A respectivement. Dans les conditions des essais présentés, la digestibilité des fractions NDF et ADF (parois) n'est pas signi-

ficativement différente. Elle se situe aux alentours de 60 à 70 % dans les lots B et de 50 % dans les lots A. Elle est améliorée dans les rations pauvres, comme en témoignent les résultats obtenus par les lots B qui recevaient de la paille de riz brute (digestibilité des fractions NDF et ADF voisine de 60 %) ou traitée à l'urée (70 %), qui peuvent être comparés à ceux des lots A, qui recevaient le même fourrage, traité à l'urée (digestibilité de l'ordre de 50 % seulement pour les mêmes fractions). Un bilan minéral ferait état de rendements faibles. Pour

fixer les idées, on peut estimer qu'un troupeau produisant 1 000 litres de lait exporte seulement 1,5 kg P_2O_5 , 1,8 kg K_2O , 1,8 kg CaO et 5,5 kg N. Un troupeau produisant 100 kg de viande ne fixe que 1,9 kg P_2O_5 , 0,5 kg K_2O , 2,3 kg CaO et 3 kg N pour des animaux européens [4, 5]. Les bilans des lots B donnent une image du statut alimentaire de beaucoup d'animaux des zones sahélienne ou soudano-sahélienne durant la seconde moitié de la saison sèche. Dans bien des cas, on parviendrait même, bien entendu, à des bilans énergie, C et N négatifs (mobilisation des réserves corporelles se traduisant par des pertes de poids). Les bilans des lots A, en revanche, ne traduisent pas fidèlement le statut alimentaire des mêmes animaux au pâturage au cours des mois favorables de la saison des pluies et du début de la saison sèche. La ration distribuée aux animaux d'expérience, plus proche des rations d'embouche distribuées à certains animaux de case, était en effet particulièrement riche en énergie et en azote. En moyenne, des animaux au pâturage en saison des pluies ingèrent une ration plus riche en fibres (mais moins lignifiée), moins digestible, moins énergétique et plus pauvre en azote. La fixation de carbone ne dépasse pas dans ces conditions 10-12 % de l'ingéré et celle de l'azote 5 à 15 %, selon nos estimations.

Le point de vue de l'agronome

Intéressons-nous à présent à la fois aux quantités restituées, à la composition des excréta et à leur forme physico-chimique, en relation avec leur devenir dans les sols (nous ne reviendrons pas sur les quantités excrétées, qui ont été traitées plus haut).

La composition des fèces doit être interprétée après correction pour les variations de leur teneur en silice qui, nous l'avons vu, varie principalement en fonction de l'ingestion de terre, conduisant à des restitutions dénuées de tout intérêt agronomique. Les autres minéraux (ainsi que la silice provenant des tissus végétaux) sont intégrés dans les particules résiduelles issues des tissus lignifiés et des épidermes cutinisés.

La matière fécale se compose d'un

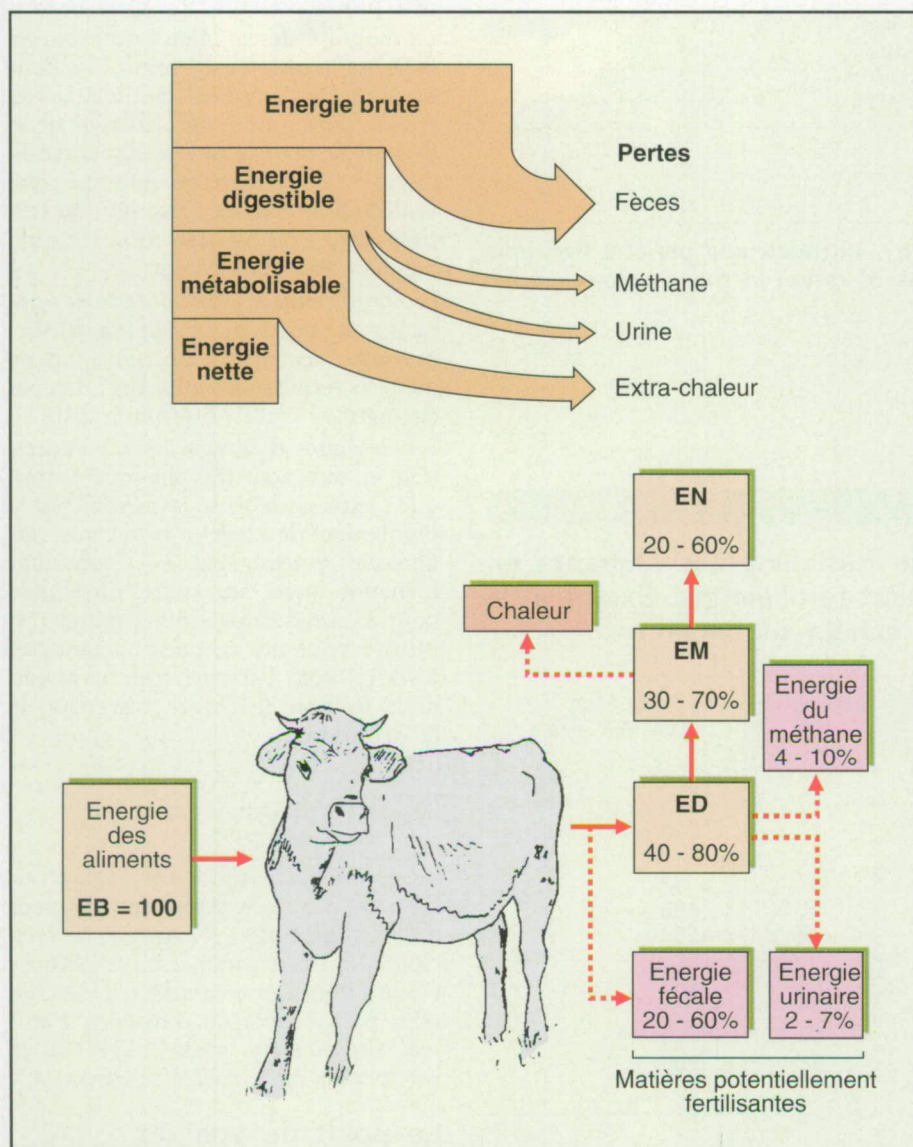


Figure 10. Utilisation de l'énergie par le ruminant. L'énergie nette couvre les dépenses énergétiques de l'animal (d'après [1]).

Figure 10. Use of energy by the ruminant. The net energy covers the animal's energetic expenditures (from [1]).

Tableau 4**Éléments de bilans de l'utilisation de l'énergie et de l'azote alimentaire par des ruminants**

a) Ovins mâles castrés. GMQ = 86 g (Grande-Bretagne) (d'après Blaxter et Graham, 1955, non publié)

Bilan énergie	I	100	Bilan azoté	I	100
	D	60		D	66
	Pz	13		Pz	5
	Fe	40		Fe	34
	U	5		U	61
	E	45		E	95
	R	37			
	P	5			

b) Vache laitière au pâturage (France). Production de l'ordre de 5 000 kg/an (d'après Peyraud, 1990, communication personnelle)

Bilan azoté	I	100
	D	78
	Pz	28
	dont lait	20
	gain de poids	8
	Fe	22
	U	48
	P	2

c) Bovins-viande au pâturage (France) (d'après Gachon *et al.* [10])

Bilan énergie	I	100
	Pz	7
	E	31
	P	62

Pour l'explication des symboles, cf. figure 9.

Breakdown factors of energy and alimentary nitrogen use in ruminants**Tableau 5****Apports énergétiques recommandés (UFL/jour) pour des bovins tropicaux adultes attelés par paire et effectuant un travail régulier**

Poids (kg)	Intensité du travail	Effort de traction (kg)	Vitesse (km/h)	Durée du travail		
				4 h	6 h	8 h
250	Très élevée	35	2,0	4,3	5,2	
	Élevée	30	2,0	4,2	4,8	
	Moyenne	25	2,5	4,0	4,6	5,2
	Légère		3,5	3,5	4,0	4,5
350	Très élevée	50	2,0	5,4	6,5	
	Élevée	42	2,5	5,3	6,1	
	Moyenne	35	2,5	5,1	5,8	6,5
	Légère		3,5	4,5	5,1	5,7
450	Très élevée	63	2,5	6,7	8,1	
	Élevée	54	2,5	6,5	7,6	
	Moyenne	45	3,0	6,3	7,1	8,1
	Légère		4,0	5,3	6,0	6,8

D'après INRA [1].

Tiré des données de Goes [14], la digestibilité de la matière organique des rations ingérées a été estimée égale à 53 %, ce qui conduit à une valeur énergétique de 0,57 UFL/kg de matière sèche.

Recommended energetic contribution (UFL/day) for adult tropical cattle, yoked in pairs and working on a regular basis

ensemble de particules dont l'ossature est constituée de débris lignifiés qui ont protégé de la digestion une partie de la cellulose et des hémicelluloses des parois. Sur ces particules sont adsorbés les débris cellulaires endogènes et les corps microbiens provenant du tube digestif. La taille des particules fécales est remarquablement stable quels que soient les régimes alimentaires et les races animales. La très grande majorité des particules présentent ainsi un diamètre moyen de l'ordre de 0,5 à 1 mm chez les ovins, de 1 à 2 mm chez les bovins. Une faible proportion de particules fécales dépassent ces dimensions, ou ont au contraire une taille plus petite, pouvant ne pas excéder quelques microns.

L'animal réalise ainsi de manière très rapide (24 à 72 heures) une étape de fragmentation homogène qui est essentielle pour le processus d'incorporation au sol de la matière organique végétale [15].

Le rapport C/N des dépôts fertilisants est un indicateur de leur devenir dans les sols : des valeurs élevées de ce rapport favorisent la minéralisation de la matière organique par stimulation du métabolisme microbien hétérotrophe (l'apport d'énergie domine), tandis que des valeurs basses facilitent l'accumulation de matière organique dans la fraction organo-minérale et favorisent ainsi l'humification [15]. Ainsi que l'indiquent les bilans présentés plus haut, le rapport C/N des excréta totaux est diminué, par rapport à celui des fourrages pauvres, dans une proportion variant entre 30 et 60 %, ce qui peut paraître favorable. Cependant, cette conclusion doit être nuancée car l'essentiel de l'azote est éliminé sous forme soluble dans les urines. Si l'on ne considère que les fèces, le rapport C/N est diminué (par rapport aux aliments) dans une proportion de l'ordre de 30 % pour les rations composées de fourrages pauvres (lots B), tandis qu'il est augmenté pour les rations riches, notamment celles qui intègrent un apport azoté très digestible sous forme de concentré ou d'urée (lots A). Ce rapport est probablement peu modifié pour des animaux pâturant des fourrages jeunes en saison des pluies.

La teneur des fèces en fractions pariétales (NDF et ADF) est diminuée par rapport à celle des aliments dans le cas

des fourrages pauvres (- 45 % de NDF en moyenne dans la matière organique pour les lots B), augmentée dans les régimes riches (lots A : + 65 %), en relation avec les variations de la digestibilité des parois. Dans tous les cas, la teneur des fèces en NDF reste élevée et supérieure à 50 % la majeure partie de l'année. La figure 7 fournit des éléments relatifs à la teneur des fèces en ADF, qui est de l'ordre de 45 % dans les bilans, pour les deux groupes d'animaux étudiés. En toute hypothèse, il est clair que le rapport NDF/contenu cellulaire, qui intéresse les agronomes dans la perspective de l'humification [15], est sensiblement augmenté par le passage dans le tube digestif de l'animal, mais les données dont nous disposons ne nous permettent pas de chiffrer cette évolution*. Au total, l'activité des herbivores domestiques exerce un rôle important dans le cycle du carbone et des éléments trophiques contenus dans la phytomasse épigée en créant une sorte de « circuit court » qui s'oppose aux « circuits longs » qui permettent le recyclage de ces éléments dans le sol par d'autres voies [10]. La fragmentation opérée par la mastication et les autres phénomènes digestifs est complétée par l'attaque enzymatique due aux sucs digestifs et par la fermentation microbienne, dont l'intensité est incomparablement plus élevée que celle qui intervient au niveau du sol. La rapidité de ce cycle est un facteur important de son rendement, apprécié en termes écologiques [16] : l'accroissement de la charge animale (jusqu'à un seuil variable selon les systèmes considérés) et l'augmentation consécutive de la quantité des matières végétales qui transitent par le tube digestif des herbivores accélèrent le cycle des éléments trophiques, améliorent le rendement humique et aboutissent à une véritable stimulation biologique de l'écosystème [10].

Le taux de minéralisation de la matière organique d'origine animale est plus élevé que celui des végétaux morts (Kajak, cité dans [4, 5]), ceci concernant essentiellement les fractions endogène et microbienne des fèces, dont le

rapport C/N inférieur à 10 représente un apport équilibré pour la population microbienne des sols. Les fractions lignifiées et cutinisées des fèces, réduites en fines particules, constituent par ailleurs des substances préhumiques particulièrement intéressantes en termes agronomiques, l'efficacité des processus d'humification les concernant étant améliorée, lorsque l'azote urinaire est perdu, par la disponibilité dans le sol de sources azotées complémentaires.

Conclusion

L'ensemble des phénomènes physiologiques mis en jeu dans la « fonction fertilisante » assignée à l'élevage est aujourd'hui relativement bien connu. Les études se poursuivent sur la composition des rations ingérées par les herbivores tropicaux au pâturage et leurs retombées continueront d'enrichir nos connaissances sur l'excrétion fécale et urinaire de ces animaux. Même si la valorisation de ces connaissances en termes de bilans utilisables par les agronomes reste insuffisante, on peut donc conclure que le renforcement des recherches sur le thème de la fertilisation animale ne nécessite pas, à l'heure actuelle, de recherches spécifiques sur l'animal. En revanche, des travaux de recherche-développement s'imposent autour du thème de l'utilisation agronomique des matières fertilisantes produites par les herbivores domestiques, et plus généralement de l'association entre élevage et agriculture. Tel sera le thème du second article de cette série (Landais et Lhoste, 1992) ■

Références

1. INRA. 1988. *Alimentation des bovins, ovins et caprins*. (Ouvrage collectif dirigé par R. Jarrige.) Paris : INRA, 1988 : 471 p.
2. Van Soest PJ, Robertson JB. *Analysis of forages and fibrous foods : a laboratory manual for Animal Science*. Cornell : Cornell University Publ, 1983 ; 202 p.
3. Guérin H, Richard D, Friot D, Mbaye N, Kone AR. Intérêt du dosage de la lignocellulose (ADF) et de différentes fractions azotées pour prévoir la valeur nutritive des fourrages naturels sahéliens. *Reprod Nutr Dév* 1988 ; 28 : 111-2.
4. Lançon J. Les restitutions du bétail au pâturage et leurs effets (1^{re} partie). *Fourrages* 1978 ; 75 : 55-88.
5. Lançon J. Les restitutions du bétail au pâturage et leurs effets (2^e partie). *Fourrages* 1978 ; 76 : 91-122.
6. Guérin H. *Alimentation des ruminants domestiques sur pâturages naturels sahéliens et sahélo-soudaniens : étude méthodologique dans la région du Ferlo au Sénégal*. Thèse docteur-ingénieur,

- ENSA, Montpellier, Maisons-Alfort : IEMVT, 1987 : 211 p.
7. Guérin H, Sall C, Friot D, Akhlope B, Ndoeye A. Ébauche d'une méthodologie pour le diagnostic de l'alimentation des ruminants domestiques dans un système agropastoral. Exemple de Thyssé-Kaymor et Sonkorong au Sénégal. In : *Relations agriculture-élevage* : Actes du II^e séminaire du Département systèmes agraires du CIRAD. Montpellier, France, 10-13 septembre 1985. Montpellier : DSA-CIRAD 1985 : 188-97 (Documents systèmes agraires, n° 4).
 8. Guérin H, Friot D, Mbaye N, Fall ST, Richard D. L'ingestion des fourrages des parcours naturels en zone sahélienne : mesures en stabulation et au pâturage. *Reprod Nutr Dév* 1987 ; 27 : 197-8.
 9. Davies EB, Hogg DE, Hopewell GH. Extent of return of nutrient elements by dairy cattle : possible leaching losses. *Int Soil Sci Conf* 1962 ; 7 : 715-9.
 10. Gachon L, Ricou G, Gruner L. Fonctionnement de l'écosystème prairial pâturé. In : *Utilisation par les ruminants des pâturages d'altitude et parcours méditerranéens*. X^{es} journées du Grenier de Theix, 1-3 juin 1978. Versailles : INRA, 1979 : 9-20.
 11. Ledger HP, Sayers AP. The utilization of dietary energy by steers during periods of restricted food intake and subsequent realimentation. 1. The effects of time on the maintenance requirements of steers held at constant live weights. *J Agric Sci Camb* 1977 ; 88 : 11-26.
 12. Turner AG, Taylor CS. Dynamic factors in models of energy utilization with particular reference to maintenance requirement of cattle. *Wld Rev Nutr Diet* 1983 ; 42 : 135-90.
 13. Osuji PO. The physiology of eating and the energy expenditures of the ruminant at pasture. *J Range Mgmt* 1974 ; 27 : 437-43.
 14. Goe MR. État actuel des recherches sur la traction animale. *Revue mond zootech* 1983 ; 45 : 2-17.
 15. Pieri C. *Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara*. Paris : Ministère de la Coopération et du Développement, CIRAD, 1989 : 444 p.
 16. Powell JM, Mohamed-Saleem MA. Nitrogen and phosphorus transfers in a crop-livestock system in West-Africa. *Agric Syst* 1987 ; 25 : 261-77.

Résumé

La fumure animale est, dans la zone des savanes, la technique la plus fréquemment utilisée par les paysans pour maintenir la fertilité des champs permanents. La fonction fertilisante ainsi assurée par les herbivores domestiques met en jeu diverses fonctions physiologiques de l'animal : ingestion, digestion et excrétion, mais aussi mobilité. Les auteurs rappellent quelques grandes caractéristiques de la réalisation de ces fonctions biologiques en milieu tropical, en insistant sur les bilans organique, carboné et azoté de la digestion, ainsi que sur le coût énergétique de la mobilité animale. De nombreux résultats tirés de travaux réalisés au Sénégal illustrent concrètement leur propos.

* Sur parcours agro-pastoraux en zone sahélo-soudanienne, la teneur en ADF des régimes des bovins varie au cours de l'année entre 30 et 50 % de la MS, tandis que celle des fèces est comprise entre 45 et 65 % de MS, la liaison entre les teneurs en NDF et en ADF restant constamment élevée.